

# NOWY ALGORYTM REGULACJI TRANSFORMATORÓW ZASILAJĄCYCH SIEĆ ROZDZIELCZĄ

dr inż. Robert Małkowski / Politechnika Gdańska  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Szczerba / Politechnika Gdańska

## 1. WSTĘP

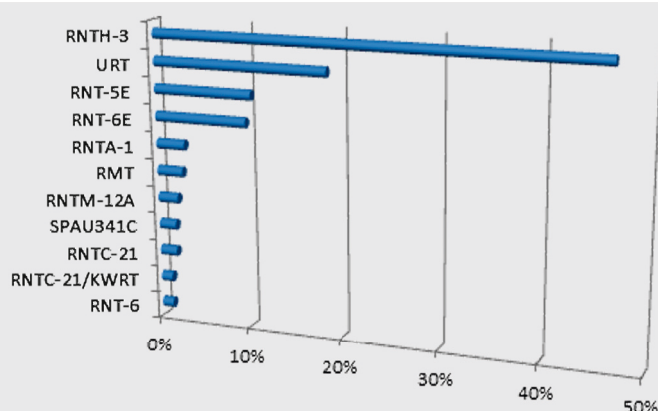
W pracy [1] autorzy opisali obecny stan układów regulacji transformatorów zasilających sieć rozdzielczą. Przedstawiono analizę celowości blokowania regulatorów w nienormalnych stanach napięciowych. Podano podstawowe założenia teoretyczne, jakie powinien spełniać algorytm regulacji transformatora uwzględniający ciągłą zmianę współczynnika podatności napięciowej odbiorów  $\frac{dQ_o}{dU}$ .

Dzisiaj prezentujemy propozycję nowego algorytmu działania transformatora, uwzględniającego wcześniejsze postulaty. Idea inteligentnego regulatora polega na określaniu na bieżąco wartości pochodnej  $\frac{dQ_o}{dU}$  oraz tendencji do powstawania lawiny napięcia w systemie elektroenergetycznym. Wartości te uzyskuje się przez rejestrację (próbkowanie w czasie) i obróbkę:

- wartości napięcia po obu stronach transformatora
- mocy biernej po stronie SN
- przez rejestrację oraz obróbkę tych wartości przed i bezpośrednio po zadziałaniu przełącznika zacze-  
pów, sterowanego przez omawiany regulator.

## 2. POPULACJA REGULATORÓW TRANSFORMATORÓW W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM (KSE)

Wyniki ankiety zawarte w opracowaniu [2], a dotyczące regulatorów transformatorów zainstalowanych w stacjach 110 kV/SN, pokazują, że znakomitą część regulatorów transformatorów stanowią regulatory typu RNTH-3 (ankieta obejmowała kilkaset transformatorów).



Rys. 1. Populacja statystyczna regulatorów transformatorów podlegających ankietyzacji

## Streszczenie

W niniejszym artykule opisano przykład nowego inteligentnego algorytmu regulatora transformatora. Układ regulacji transformatorów 110/SN, z proponowanym algorytmem działania, umożliwia automatyczne dostosowa-

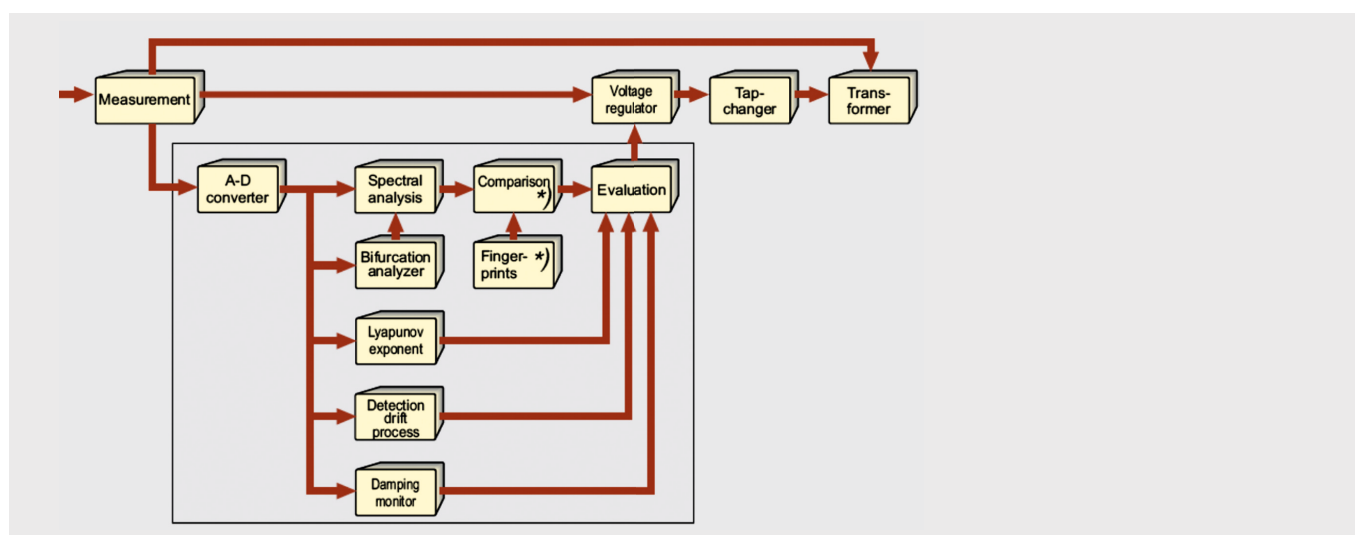
nie algorytmu działania regulatorów do aktualnych stanów systemu elektroenergetycznego (np. lawina napięcia) i w ten sposób może wpłynąć na wzrost bezpieczeństwa elektroenergetycznego.

Analiza dokumentacji stosowanych w KSE regulatorów transformatorów prowadzi do następujących wniosków:

- Działanie regulatorów oparte jest jedynie na pomiarze napięcia. Kryterium działania wszystkich regulatorów jest przekroczenie zadanej wartości napięcia (z dokładnością do strefy nieczułości). Pomiar prądu służy jedynie do wyznaczenia wartości napięcia kompensacji prądowej oraz blokady przeciążeniowej.
- Żaden regulator transformatora nie umożliwia oddziaływania na (załączenie lub wyłączenie) lokalne źródła mocy biernej.
- Algorytmy działania współczesnych regulatorów w żaden sposób nie określają tendencji do pojawienia się lawiny napięć.

W literaturze można na przykład znaleźć opis urządzenia, którego algorytm umożliwia przewidywanie sytuacji mogących prowadzić do black out. Jest nim *Collapse Prediction Relay CPR-D* oferowany przez firmę a-eberle [3].

Algorytm tego urządzenia jest jednak bardzo złożony (rys. 2).



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu działania CPR-D

Do określenia potrzeby zablokowania lub właściwegoysterowania przetłącznika zaczeów transformatora wykorzystuje się:

- teorię bifurkacji, w połączeniu z elementami sieci neuronowych
- określanie wykładników Lapunowa
- identyfikację obniżania się napięcia
- współczynniki tłumienia.

Zasadnicza różnica pomiędzy CPR-D a prezentowanym w niniejszym artykule algorytmem działania polega na postawionym celu działania. W przypadku układu CPR-D dążeniem jest identyfikacja stanu zagrożenia. Celem działania proponowanego algorytmu jest niedopuszczenie do powstania sytuacji zagrożenia lawiną napięcia.

### 3. OPIS ALGORYTMU DZIAŁANIA

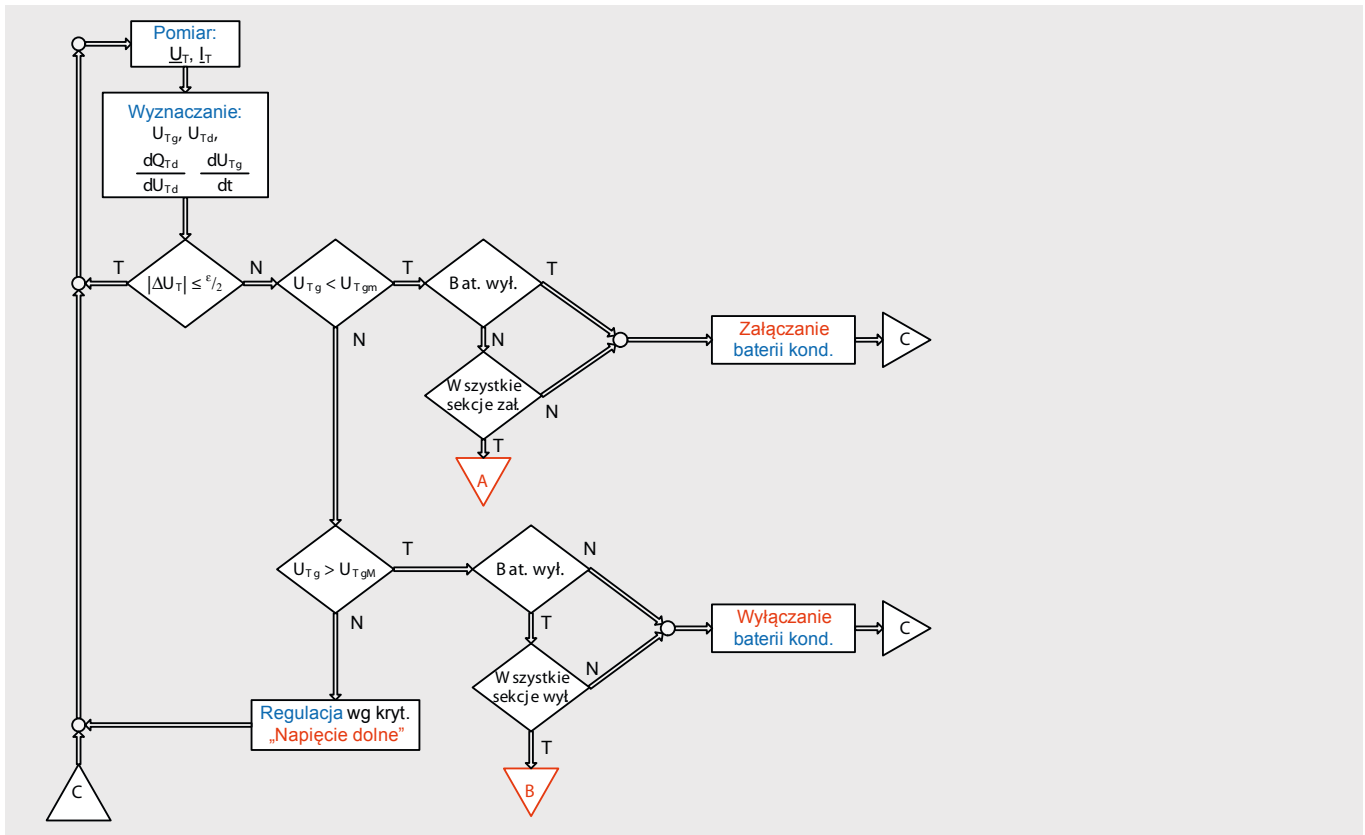
Proponowany przez autorów algorytm działania zapewnia dostosowanie regulacji transformatorów do aktualnego stanu systemu elektroenergetycznego i dzięki temu może w znaczący sposób przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa elektroenergetycznego.

W przykładowej realizacji sposobu regulacji transformatorów zasilających sieć rozdzielczą 110/SN algorytm działania może przebiegać następująco: w zadanych odstępach czasowych mierzy się i rejestruje wartości napięcia po obu stronach transformatora, tj. napięcie górne transformatora  $U_{Tg}$  i napięcie dolne transformatora  $U_{Td}$  oraz bieżącą wartość mocy biernej po stronie dolnej transformatora  $Q_{Td}$ , czyli po stronie odbiorów SN. Na tej

podstawie na bieżąco określa się współczynnik podatności napięciowej mocy biernej odbiorów  $\frac{dQ_{Td}}{dU_{Td}}$  i w za-

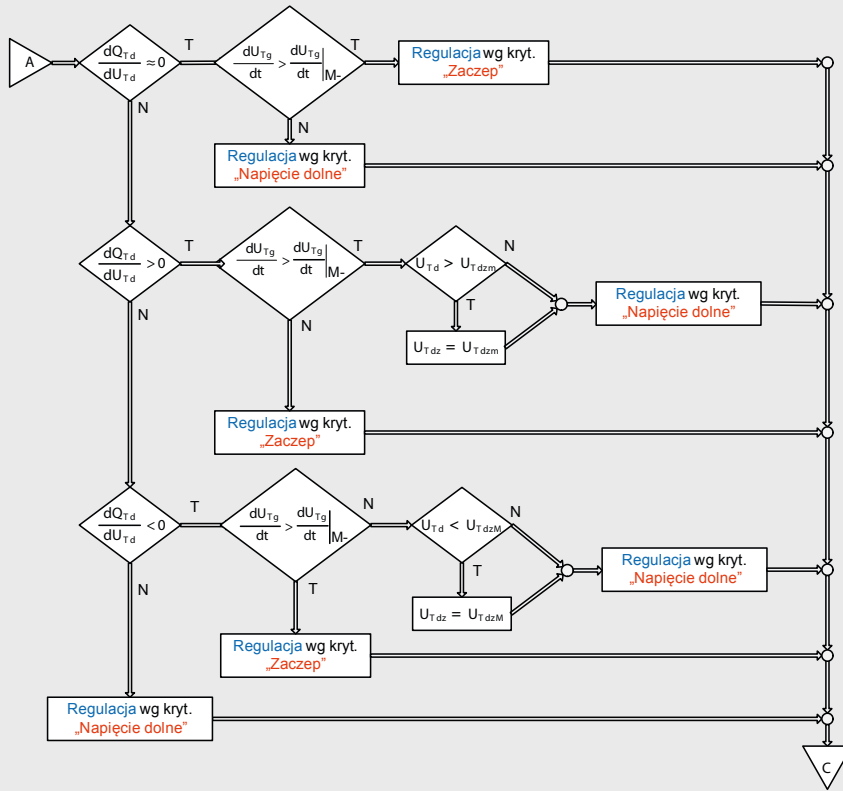
leżności od jego wartości oraz wartości napięcia górnego  $U_{Tg}$  i bieżącej szybkości zmian napięcia górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt}$

podejmuje się decyzję, czy ma być utrzymywana bieżąca zadana wartość napięcia dolnego  $U_{Td}$ , poprzez przełączanie zaczeptów transformatora, czy też należy wstrzymać regulację (praca transformatora ze stałym zaczeptem). Dla węzła sieci rozdzielczej zaopatrzonego w baterię kondensatorów, gdy bieżąca wartość napięcia górnego transformatora znajduje się poza zakresem określonym przez zadaną minimalną wartość napięcia górnego  $U_{Tgzm}$  i zadaną maksymalną wartość napięcia górnego  $U_{Tgzm}$ , w pierwszej kolejności dokonuje się próby regulacji poprzez, odpowiednio, załączanie lub wyłączanie kolejnych sekcji baterii kondensatorów (rys. 3).



Rys. 3. Schemat algorytmu odpowiadający za wykorzystanie źródeł mocy biernej, np. baterii kondensatorów (proces załączania i wyłączania baterii kondensatorów nie został tu szczegółowo przedstawiony)

W sytuacji, gdy bieżąca wartość napięcia górnego  $U_{Tg}$  mieści się w zakresie określonym przez  $< U_{Tgzm}; U_{Tgzm} >$ , utrzymuje się bieżącą zadaną wartość napięcia dolnego  $U_{Td}$  poprzez przełączanie zaczeptów transformatora. W sytuacji, gdy wartość górnego napięcia  $U_{Tg}$  wykracza poza dopuszczalny zadany zakres i nie daje się wyregulować za pomocą baterii kondensatorów, sterowanie przekładnią transformatora odbywa się w kierunku poprawiającym stabilność napięciową odpowiednio przy deficycie lub nadmiarze mocy biernej.



Rys. 4. Diagram algorytmu adaptacyjnego regulatora transformatora 110 kV/SN. Przypadek zbyt niskiego napięcia

Przy deficycie mocy biernej regulacja odbywa się w następujący sposób (rys. 4):

- jeżeli  $\frac{dQ_o}{dU} \approx 0$  – utrzymywana jest stała przekładnia lub zadane uprzednio napięcie dolne  $U_{Tdz}$
- stałą przekładnię utrzymuje się, gdy bieżąca szybkość zmian napięcia górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt}$  przekracza zadaną ujemną szybkość zmian napięcia górnego  $\left. \frac{dU_{Tg}}{dt} \right|_{M-}$ , a w przeciwnym przypadku utrzymuje się bieżące zadane napięcie dolne  $U_{Tdz}$  poprzez zmianę zaczepów transformatora
- jeżeli  $\frac{dQ_o}{dU} > 0$  – utrzymywana jest stała przekładnia lub obniżane jest napięcie po stronie dolnej transformatora do dopuszczalnej zadanej minimalnej wartości napięcia dolnego  $U_{Tdzm}$ , a następnie utrzymywana jest zadana wartość  $U_{Tdzm}$
- stała przekładnia jest utrzymywana, gdy bieżąca szybkość zmian napięcia górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt}$  przekracza zadaną ujemną szybkość zmian napięcia górnego  $\left. \frac{dU_{Tg}}{dt} \right|_{M-}$ , natomiast gdy bieżąca szybkość zmian napięcia górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt}$  nie przekracza zadanej ujemnej szybkości zmian napięcia górnego  $\left. \frac{dU_{Tg}}{dt} \right|_{M-}$ , a bieżąca wartość napięcia dolnego  $U_{Td}$  jest większa od zadanej minimalnej wartości napięcia dolnego  $U_{Tdzm}$  – napięcie dolne, poprzez przełączanie zaczepów transformatora, doprowadza się do tej zadanej wartości minimalnej
- jeżeli  $\frac{dQ_o}{dU} < 0$  – utrzymywane jest uprzednio zadane napięcie po stronie dolnej transformatora  $U_{Tdz}$

lub podwyższane jest to napięcie do dopuszczalnej zadanej maksymalnej wartości napięcia dolnego  $U_{TdM}$ , a następnie utrzymywana jest ta zadana wartość  $U_{TdM}$

- napięcie dolne doprowadza się do zadanej maksymalnej wartości, gdy bieżąca szybkość zmian napięcia

górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt}$  nie przekracza zadanej ujemnej szybkości zmian napięcia górnego  $\frac{dU_{Tg}}{dt} \Big|_{M-}$ , a bieżąca

wartość napięcia dolnego  $U_{Td}$  jest mniejsza od zadanej maksymalnej wartości napięcia dolnego  $U_{TdM}$

Zaproponowany algorytm może być realizowany automatycznie poprzez próbkowanie w czasie odpowiednich wielkości, polegające na wprowadzaniu do pamięci wartości napięcia po obu stronach transformatora i mocy biernej po stronie odbiorów SN na bieżąco, w zadanych odstępach czasu, nastawialnych w granicach, np. od kilku do kilkudziesięciu sekund. Jeśli utrzymywana jest zadana wartość napięcia po stronie SN, wysyłany jest sygnał przełączenia zaczepu (identyfikujący chwilę przełączenia), do pamięci wprowadzane są wartości napięcia i mocy przed przełączeniem i po uzyskaniu nowego stanu ustalonego po przełączeniu zaczepu. Rejestracja i obróbka mierzonych na bieżąco oraz przed i po zadziałaniu przełącznika zaczepów wartości napięcia i mocy umożliwia wykrywanie tendencji do powstawania lawiny napięcia w systemie elektroenergetycznym oraz identyfikację sytuacji, w których blokowanie regulacji jest korzystne lub szkodliwe.

#### 4. PODSUMOWANIE

Z powodu zmienności mocy odbiorów w czasie nie jest możliwe określenie (na podstawie pomiarów okresowych) sytuacji, w których należy stosować stałą blokadę lub stałą zmianę algorytmu działania regulatorów.

Przedstawiony w niniejszym artykule układ regulacji transformatorów 110/SN, z proponowanym algorytmem działania, zapewni automatyczne dostosowanie algorytmu działania regulatorów do aktualnych stanów systemu elektroenergetycznego i w ten sposób poprawi bezpieczeństwo elektroenergetyczne.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Małkowski R., Szczerba Z., Wpływ struktury, algorytmów działania oraz nastawień układów regulatorów transformatorów 110/SN na możliwość powstania i przebieg awarii napięciowej, materiały konferencji APE '09, Jurata, czerwiec 2009.9.
2. Ankieta rozesłana do spółek dystrybucyjnych, 2008.
3. a-eberle, CPR-D Collapse Prediction Relay, <http://www.a-eberle.de>, 2009.
4. Zgłoszenie patentowe numer P. 391598, tytuł: Sposób regulacji transformatorów zasilających sieć rozdzielczą, czerwiec 2010.